

文章编号 :1000-0550(2001)04-0517-07

# 塔里木盆地库车坳陷白垩系辫状三角洲 砂体成岩作用和储层特征

顾家裕 方辉 贾进华

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 通过对库车坳陷白垩系辫状三角洲的研究,总结辫状三角洲的沉积特征是:1. 由于辫状河流直入湖泊,沉积物比较粗,中砂岩和细砂岩占有相当的比例,可达 60%~80%,最高达 95%。2. 成分和结构成熟度低—中等,一般为长石砂岩、岩屑长石砂岩和岩屑砂岩,石英含量 30%~50%,岩屑含量可高达 50%以上,一般为 30%左右,岩屑成分复杂。3. 沉积构造以块状层理、大型槽状交错层理和斜层理为主,见平行层理、波状层理和极少量的水平层理。4. 辫状河道的主要沉积期是洪水期,因而河道具快速迁移性,沉积作用具有阶段性,砂体之间多次重复叠加,在滨岸地区辫状砂体性质相似而垂向侧向连接,成为分布面积很大的砂体,砂层之间只有薄层的泥质夹层。对研究区露头 and 岩心的普通薄片、铸体薄片、阴极发光及扫描电镜等资料的分析研究,认为该区成岩作用包括压实、胶结、溶蚀、交代、压溶和重结晶等作用,并且以前三类为主。根据对自生矿物、粘土矿物、I/S 间层中的 S%、包裹体测温、成岩作用类型及特点等分析,判断研究区白垩系成岩阶段已达晚成岩 A 期。白垩系砂岩储层特殊的沉积—成岩水介质条件、构造—埋藏演化史、异常高压背景等决定了其特有的成岩序列演化的特点。白垩系巴什基奇克组上部和底部、巴西盖组砂岩的孔隙类型主要有改造粒间孔、粒内溶孔、颗粒溶孔、基质溶孔、晶间孔、原生粒间孔以及构造缝、收缩缝等。

**关键词** 辫状三角洲 成岩作用 成岩阶段 孔隙演化 自生矿物

**第一作者简介** 顾家裕 男 1944 年出生 教授、博士生导师 沉积与储层地质学

**中图分类号** P588.2 **文献标识码** A

## 1 库车坳陷地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地的北缘,北部与天山相邻,南面紧靠塔北隆起,整体呈北东东向展布,面积约  $2.85 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区域构造属于天山褶皱带南麓前陆的前渊坳陷。它是在海西晚期晚二叠世开始发育,经历了多期构造运动叠加的在古生代被动大陆边缘之上发育起来的中、新生代叠合前陆盆地<sup>[1]</sup>。中、新生代发育比较齐全。白垩纪库车原始盆地边界与三叠纪、侏罗纪盆地原始边界大致相同,但沉降中心向南迁移到克拉苏构造带至依西 1 井一线。盆地边缘的冲积扇、扇三角洲保存齐全,盆地其他地区为在剥蚀夷平背景下的三角洲—滨浅湖沉积。在库车坳陷主要为下白垩统,上白垩统缺失,与下伏侏罗系呈不整合接触。沉积具有北厚南薄的特点。东西差别较大,东部缺失白垩系巴什基奇克组和巴西盖组,舒善河组也发育不全。白垩系主要储层段发育于巴西盖组和巴什基奇克组。

在该坳陷中已经发现 6 个油气田,其中克拉 2 大气田已成为国家重点工程“西气东输”的主力资源基地(图 1)。

## 2 库车坳陷白垩系辫状三角洲的沉积特征

库车坳陷白垩系辫状三角洲具有如下沉积特征:

(1) 由于辫状河流直入湖泊,沉积物比较粗,中砂岩和细砂岩占有相当的比例,可达 60%~80%、最高达 95%,夹薄层浅灰色、绿灰色粉砂岩及绿灰色泥质条带,但泥质条带连续性差。

(2) 成分和结构成熟度低—中等,一般为长石砂岩、岩屑长石砂岩和岩屑砂岩,石英含量 30%~50%,岩屑含量可高达 50%以上,一般为 30%左右,岩屑成分复杂,有沉积岩岩屑、火成岩岩屑和变质岩岩屑;分选性以中等为主,亦有一定量好的和差的,磨圆度都为次圆~次棱角状。粒度概率分布呈单跳跃两段式和单跳的三段式,其中滚动组分占 1%~5%、跳跃组分占 60%以上,也含有相当高的悬浮组分。

(3) 沉积构造以块状不显层理、大型槽状交错层理和斜层理为主,见平行层理、波状层理和极少量的水平层理,砾石成分复杂具叠瓦状结构,向上游倾斜,倾角  $15^\circ \sim 25^\circ$ 、最大达  $35^\circ$ 。

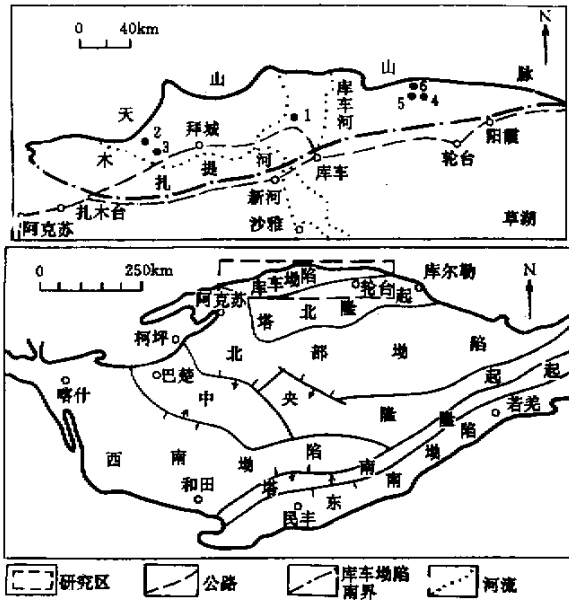


图1 库车坳陷地理位置图

Fig. 1 Location map of the Kuqa Depression

(4) 辫状河道的主要沉积期是洪水期,因而沉积作用具有阶段性,河道具快速迁移性<sup>[2]</sup>,砂体之间多次重复叠加,在滨岸区沉积物受波浪作用的改造,细粒物质被簸选而远离岸线,因此在滨岸地区辫状砂体性质相似而垂向侧向连接,成为分布面积很大的砂体,而砂层之间只有薄层的泥质夹层。

### 3 库车坳陷白垩系辫状三角洲的成岩作用类型与成岩阶段

克拉2气田白垩系巴什基奇克组( $K_1bs$ )和巴西盖组储层是一个典型的辫状三角洲,储集岩主要为褐色中砂岩、细砂岩,杂色—褐红色砾岩、含砾砂岩,棕褐色粉砂岩等,总体具有结构成熟度较高,成分成熟度较低的特点。填隙物主要为粒间杂基和胶结物。杂基以泥质和铁泥质为主,胶结物主要为白云石和方解石、含铁白云石、石膏、高岭石、硅质和少量方沸石(克拉1井方沸石含量较高)、黄铁矿等。

#### 3.1 成岩作用类型

通过对研究区露头 and 岩心的普通薄片、铸体薄片、阴极发光及扫描电镜等资料的分析研究,认为该区成岩作用包括压实、胶结、溶蚀、交代、压溶和重结晶等作用,并且以前三类为主。

##### 3.1.1 机械压实作用

机械压实作用是研究区内最主要的成岩作用,是沉积物在上覆重力和静水压力作用下,发生水分排出,孔隙减小和岩石总体积缩小的过程,它主要发生在早

成岩阶段。岩石薄片资料表明,白垩系岩石碎屑颗粒之间以点—线接触为主,少数线接触和点接触。 $K_1bs_2$ 段以上主要是点—线接触, $K_1bs_3$ 以下主要是线接触,自上而下压实作用呈变强的趋势。镜下还可见塑性黑云母被压弯,脆性石英颗粒表面具已愈合的压裂纹,这说明岩石已达中等压实程度。颗粒接触关系与填隙物含量密切相关。填隙物含量高的层段,则压实作用相对较弱,颗粒多呈基底支撑。填隙物含量很低的层段,则多呈线接触。

岩石的受压实程度可以用压实率表示,视压实率 $=(\text{原始孔隙度} - \text{粒间体积}) / \text{原始孔隙度} \times 100\%$ ,其中,原始孔隙度 $= 20.91 + 22.9 / S_0$ (式中 $S_0$ 为Trask分选系数),当视压实率 $< 30\%$ 时,压实较弱;当视压实率 $30\% \sim 70\%$ 时,压实中等;当视压实率 $> 70\%$ 时,压实较强。

根据以上两个公式计算,研究区克拉2井白垩系巴什基奇克组和巴西盖组砂岩储层的视压实率主要在 $11\% \sim 40\%$ 之间,总体处于中等—弱压实程度。

##### 3.1.2 胶结作用

胶结作用的成岩效应是堵塞孔隙,胶结作用的强度可用胶结率定量研究。一般有:胶结率 $= \text{胶结物含量} / \text{原始孔隙体积} \times 100\%$ 。当胶结率 $0\% \sim 30\%$ 为弱胶结; $30\% \sim 60\%$ 为中等胶结; $> 60\%$ 为强胶结。实际上,由薄片鉴定得到的胶结物含量不只是反映了胶结作用、矿物充填作用等对减少孔隙空间的影响,同时也反映了溶解作用对原始矿物颗粒的改造。克拉2井白垩系储层胶结率一般低于 $60\%$ ,为中—弱胶结,且随深度增加,胶结率也有增大的趋势。

白垩纪时期碱性沉积环境决定了该区的主要胶结物为碳酸盐,早期的碳酸盐胶结限制了压溶作用的进行,使孔隙流体中硅质含量较低,硅质因为在碱性环境下未达到过饱和和很少沉淀。尽管后期有酸性流体侵入,使长石岩屑溶蚀产生一定的硅质,但仍未改变碱性环境的背景,只在局部产生一些硅质胶结。克拉2气田各井岩心薄片中心很少石英次生加大就证明了这一点。

##### 3.1.3 溶蚀作用

研究区砂岩储层普遍发育较强的溶蚀作用,主要表现为长石沿裂缝节理缝的强烈溶蚀和颗粒溶蚀残余、岩屑的筛状溶蚀和颗粒的溶蚀残余,方解石溶蚀成浑圆状、白云石、(含)铁白云石的边缘溶蚀和残余现象,还有少量的石英颗粒港湾状溶蚀。溶蚀孔隙形成的成因与晚第三纪末三叠—侏罗系烃源岩有机质成熟,产生大量有机酸有关。研究区内克拉2井区的溶蚀作用比克拉3井强,克拉3井未见到次生高岭石。

克拉 1 井溶蚀作用介于克拉 2、3 井之间,表现为次生高岭石含量比克拉 2 井区少,比克拉 3 井多。克拉 2 井区的强烈溶蚀和其所处的构造位置有关。

露头剖面上砂岩由于受表生淋滤作用的影响,溶蚀孔隙十分发育。在庫车河地区白垩系巴什基奇克组上段砂岩呈不整合接触,其砂岩薄片中间溶孔非常发育,面孔率可达 5%~16%。被溶组分有无铁方解石,可能还有盐类矿物及方沸石等。

### 3.1.4 交代作用

交代作用主要表现为碳酸盐胶结物对碎屑颗粒交代和晚期碳酸盐胶结物对早期碳酸盐胶结物的交代。交代作用发生较早,自沉积物沉积时期就已经发生,对青岛黄金海岸砂和现代沙漠砂镜下观察,发现较多颗粒已发生交代作用。方解石和白云石对碎屑颗粒的交代作用与碱性水介质下碳酸盐矿物易沉淀而硅酸盐矿物易溶蚀有关。镜下克拉 2 井和克拉 201 井砂岩中均可见方解石、白云石交代岩屑和长石的现象。白云石交代作用一般发生在晚成岩时期,是由于孔隙溶液中的  $\text{CO}_2$  分压升高或温度升高,或两者共同影响造成的,与长石、岩屑等溶蚀引起  $\text{Mg}^{2+}$  浓度升高也有关系。碳酸盐间的交代还表现为(含)铁白云石对于白云石的交代,一般含铁白云石呈环带状分布于白云石周围。

### 3.2 成岩阶段

成岩阶段划分与成岩序列演化主要根据自生矿物组合、分布、演变及形成顺序,粘土矿物及混层粘土矿物的转化,岩石结构构造特征及孔隙类型,有机质成熟度等指标等判断,研究区白垩系成岩阶段已达晚成岩 A 期<sup>[3]</sup>。该区为碱性成岩环境,粘土矿物类型和组合有其独特之处。

(1) 粘土矿物类型中蒙脱石极少,高岭石含量随深度增加减小,至巴西盖组消失;而伊/蒙混层、伊利石、绿泥石在白垩系普遍存在且有随深度增加而增多的趋势。

(2) 巴什基奇克组石英次生加大不明显,至巴西盖组则普遍可见。铁方解石、(含)铁白云石在巴西盖也常见,并交代颗粒,这可以指示成岩演化已进入晚成岩 A 期。

(3) 溶解、溶蚀作用普遍。镜下清晰可见长石、岩屑和石英颗粒被溶蚀现象。

(4) 包裹体测温指示温度为 90~155℃,落入晚成岩 A 期的温度范围内。

研究区白垩系砂岩储层中特殊的沉积—成岩水介质条件、构造—埋藏演化史、异常高压背景等决定了其特有的成岩序列演化的特点。克拉苏地区在白垩系沉积以后经历了一个长期(约 140 Ma)浅埋和相对短暂

(25 Ma)深埋的演化历史(图 2)。

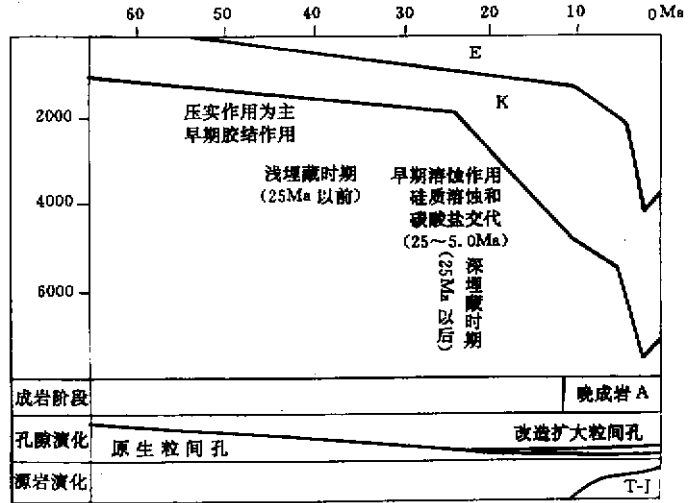


图 2 克拉 2 白垩系砂岩储层演化图

(据贾进华、邹华耀,1999<sup>①</sup>)

Fig. 2 Reservoir evolution of Cretaceous sandstone in Kela 2 Well of Kuqa depression  
(After Jia Jinhua, 1999)

## 4 储层特征与评价

### 4.1 孔隙类型

白垩系巴什基奇克组上部和底部、巴西盖组砂岩的孔隙类型主要有改造粒间孔、粒内溶孔、颗粒溶孔、基质溶孔、晶间孔、原生粒间孔以及构造缝、收缩缝等。

#### 4.1.1 改造粒间孔

改造粒间孔是原生粒间孔隙经后期酸性介质侵入溶蚀改造形成的孔隙,是这套储层主要的储集空间,属混合成因的孔隙。(1)在铸体薄片可见明显的方解石、(铁)白云石的部分溶蚀、强烈溶蚀和溶蚀残余现象。方解石(染色为红色)胶结物经溶蚀后,呈团块状或半自形零星分布或相间分布于红色(玫瑰红)铸体孔隙间。(铁)白云石(染色为蓝色或无色,晶形较好)由于为菱形晶体,所以溶蚀作用也有一定的优选性,使部分溶蚀边不是呈港湾状,而是使晶体形态特征更明显,以至于被认为未发生溶蚀,其零星分布或相间分布于红色铸体间的现象也更为常见,许多颗粒见粒内或边缘溶蚀现象。(2)碎屑颗粒边缘溶蚀特征明显,颗粒悬浮和特大孔、伸长孔常见。(3)将粒间孔隙和胶结物形态和分布特征比较,两者具有较强的相似性,粒间溶孔的体积等于胶结物体积或略大于胶结物体积,如果都为原生孔隙,与压实孔隙体积减小相矛盾。有一点必须指出,早期的碳酸盐胶结不特别致密,保存了一定量

① 贾进华等. 克拉 2 气田储量报告(内部). 塔里木油田公司, 1999

或相当量的原生孔隙,使孔隙水和酸性流体进入并产生溶蚀,使孔隙得以改造扩大;当胶结物含量较高时,溶蚀流体不易进入而孔隙度明显降低;当胶结物含量 $>20\%$ 时,因孔隙水无法流动,酸性流体无法侵入,改造粒间孔极不发育,面孔率几乎为零。

#### 4.1.2 颗粒溶孔和粒内溶孔

颗粒溶孔和粒内溶孔也是主要的储集空间,颗粒的溶蚀部位为颗粒内部、边缘或全部溶蚀,粒内溶蚀主要为岩屑的筛状溶蚀和长石沿解理缝的溶蚀;颗粒边缘溶蚀在各类碎屑中均有出现,石英边缘的港湾状溶蚀、长石岩屑的溶蚀残余现象等;颗粒全部溶蚀主要是不稳定矿物长石等的溶蚀,表现为红色铸体内的铁泥质印模。颗粒溶孔是填隙物较高的层段的主要孔隙类型。

#### 4.1.3 基质溶孔

一般为一些较为细小的微孔,使基质显示不均匀的玫瑰红色,也主要见于填隙物高含量层。

#### 4.1.4 晶间孔

主要发育于溶蚀作用比较强的层段,长石岩屑的溶蚀,生成大量的分散的高岭石充填于粒间孔之中,形成晶间孔。该类孔隙在晚期(含)铁白云石胶结物中也可见到。

#### 4.1.5 构造缝

在砂岩中显得不那么重要,发育较少,开度一般也 $<0.1\text{ mm}$ ,为白云质充填或半充填。构造缝由于使岩石的渗透率大大提高,使砂岩中酸性物质容易进入并对颗粒和胶结物产生强烈溶蚀,增加了次生孔隙的发育。

#### 4.1.6 收缩缝

主要发育于河道砂体底部滞留泥质碎屑边缘,分布较为局限,对于储集空间贡献不大。

### 4.2 储层物性评价

#### 4.2.1 孔隙结构特征

孔隙铸体是研究储集岩孔隙结构的一种直观方法,通过它可以观察到碎屑岩孔隙空间的几何形态、分布特征和连通情况。详细观察认为克拉2气田的孔隙结构有以下特点:

(1) 孔隙多呈不规则状,伸长孔、超大孔常见,颗粒边缘溶蚀特征明显,说明孔隙受后期的成岩等地质作用改造明显。

(2) 孔隙分布不均匀,常呈团块状分布于砂体之中。有的层位受层理的控制分布不均;细粒填隙物含量高的层位,孔隙发育较少,细粒填隙物含量少的层位,孔隙发育好。

(3) 不同层位孔隙的连通情况不同:巴西盖组连通较差,渗透率较低。巴什基奇克组下部,连通较差,孔喉配位数为 $0\sim 2$ ,最大为3。巴什基奇克组中上部连通性较好,渗透率较高。

#### 4.2.2 储层物性特征

对于储集岩,孔隙度和渗透率是最主要的两个参数,尤其渗透率是衡量砂岩储层渗流能力的关键。克拉2气田的储层总体上属于中孔中渗和低孔中低渗储层,纵向上物性最好的层段主要分布于巴什基奇克组I岩性段下部和II岩性段中上部,巴西盖组和巴什基奇克组III段物性较差,这一特征在物性分布直方图上表现的较为明显(图3)。

巴什基奇克组第一岩性段( $K_{1bs_1}$ )克拉2井未取心,从测井上看,物性较第二段差,巴什基奇克组第二岩性段( $K_{1bs_2}$ )克拉201井的孔隙度分布在 $2.9\%\sim 22.4\%$ 之间,平均 $15.6\%$ 。渗透率 $0.027\times 10^{-3}\sim 1770.1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为 $115.3\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。克拉2井的物性比克拉201井差,孔隙度 $4.5\%\sim 20.2\%$ ,平均 $12.7\%$ ;渗透率 $0.02\times 10^{-3}\sim 689\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为 $59.2\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。垂向上,克拉2气田第二岩性段的下部物性比中上部差,比第三段好。克拉201井的孔隙度在 $3.06\%\sim 21.1\%$ 之间,平均 $13.6\%$ 。渗透率 $0.021\times 10^{-3}\sim 241\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $23.7\%$ 。

克拉2气田巴西盖组砂岩段物性明显较巴什基奇克组差,孔隙度在 $2.67\%\sim 13.7\%$ 之间,平均为 $9.9\%$ ;渗透率为 $0.04\times 10^{-3}\sim 6.62\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,平均为 $0.78\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。该段孔隙度分布在 $9\%\sim 11\%$ 范围内的样品数占 $51.6\%$ ,但 $77.2\%$ 的渗透率小于 $1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

巴什基奇克组第三岩性段( $K_{1bs_3}$ )克拉201井孔隙度分布在 $1.1\%\sim 17.3\%$ 之间,平均 $9.23\%$ 。克拉2井范围较小,分布在 $4.7\%\sim 11\%$ 之间,平均 $9.3\%$ ,大于 $7\%$ 的样品占 $78.3\%$ 。克拉201井的渗透率在 $0.006\times 10^{-3}\sim 301.1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均为 $16.6\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。克拉2井渗透率明显低于克拉201井,渗透率在 $0.02\times 10^{-3}\sim 4.5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均 $0.97\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。其中小于 $1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 和 $1\times 10^{-3}\sim 5\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 两个区间内的样品分别占 $62.2\%$ 和 $29.7\%$ 。总之,克拉2气田巴什基奇克组第二岩性段物性最好,第三岩性段好,第一岩性段较好(表1)。

据库车河剖面256个样品分析统计资料:巴西盖组储层孔隙度分布范围为 $2.7\%\sim 27\%$ ,集中区在 $12\%\sim 16\%$ 之间,平均孔隙度为 $12.8\%$ ;渗透率分布范围为 $0.35\times 10^{-3}\sim 197\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ ,集中区在

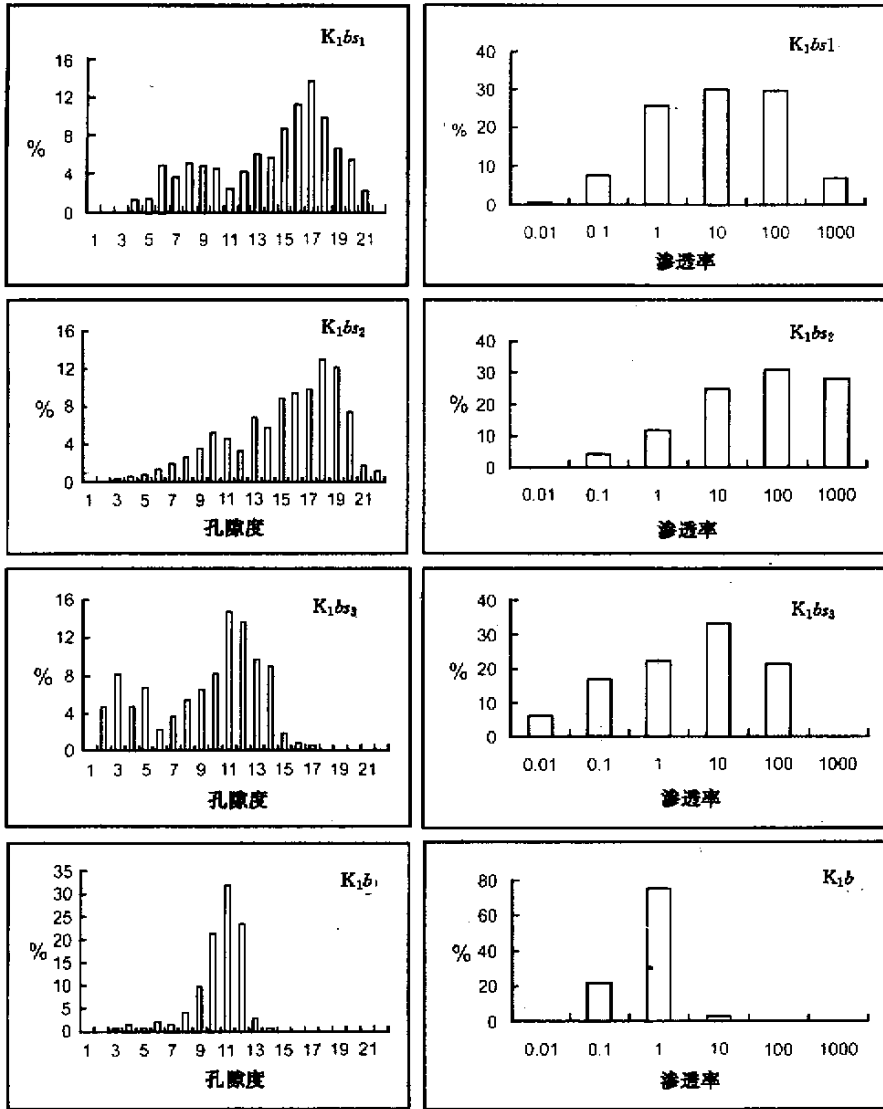


图 3 库车坳陷克拉 2 气田白垩系孔渗分布直方图

Fig.3 Histogram of porosity and permeability of Cretaceous in Kela 2 gas field of Kuqa depression

表 1 克拉 2 气田白垩系砂岩储层物性

Table 1 Physical Properties of Cretaceous sandstone of Kela 2 gas field in Kuqa depression

层位	K1201				K12				K13			
	杂基	胶结物	$\Phi$	K	杂基	胶结物	$\Phi$	K	杂基	胶结物	$\Phi$	K
K <sub>1</sub> bs <sub>1</sub>	$\frac{1-45}{13.3}$	$\frac{<1-40}{9.8}$	13.5	23.7	/	/	/	/	7.73	7.63	14.03	8.04
K <sub>1</sub> bs <sub>2</sub>	$\frac{2-26}{8.7}$	$\frac{1-30}{4.8}$	15.6	115	$\frac{<1-14}{5.0}$	$\frac{2-27}{7.1}$	12.7	59.2	2.82	12.6	11.45	14.03
K <sub>1</sub> bs <sub>3</sub>	$\frac{2-30}{7.8}$	$\frac{<1-20}{8.0}$	9.2	16.6	$\frac{2-8}{3.6}$	$\frac{0-30}{10.2S}$	8	0.97	10.4	14.9	2.79	0.038
平均	10.06	8.07	13	57	4.92	6.93	12	51	6.1	16.1	8.7	6.1

$10 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,平均值为  $17.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

12.9%,集中区在 8% ~ 12% 之间,平均孔隙度为 8.5% 渗透率分布范围为  $0.128 \times 10^{-3} \sim 13 \times 10^{-3}$

巴什基奇克组储层孔隙度分布范围为 5.3% ~  $\mu\text{m}^2$ ,集中区在  $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  之间,平均渗透

率为  $2.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

可以看出,地表巴什基奇克组物性明显较巴西盖组差,这与井下情况正好相反。其原因可能和地表储层经历了表生成岩作用的改造有关。

4.2.3 砂体结构形态

砂体的结构、形态主要是根据露头工作来研究的。通过对库车河工区主干剖面以西近 1 000 m 砂体的横向追踪对比所建立的储层骨架模型来看,工区巴西盖组储层砂体骨架属积木式骨架结构类型,主要是由互相切割的(水下)分流河道砂体叠置而成。巴什基奇克组储层骨架结构亦属积木式,其中下部( $K_1bs_3$ )和中、上部( $K_1bs_{1-2}$ )主要由辫状三角洲前缘水下河道砂体叠置而成的。

库车河工区巴西盖组储层砂体野外调查表明(表 2)该组砂体较宽,以大型砂体为主,次为中型砂体,小型砂体少。大型砂体厚度一般大于 10 m,最厚达 26.5 m,视宽度一般为 900 m,视宽/厚为 18:1 ~ 88.6:1;中型砂体厚度 5 ~ 10 m,视宽度一般为 370 m,视宽/厚为 42.3:1 ~ 98.3:1;小型砂体厚度小于 5 m,视宽度 250 m,视宽/厚为 174.8:1 ~ 230.8:1。

野外剖面砂体建模表明:巴西盖组、巴什基奇克组

辫状三角洲水下河道侧向迁移和摆动频繁,砂体相互叠置<sup>[4]</sup>,使研究区  $K_1b - K_1bs$  储层砂体具有很好的侧向连通性(图 4)。

表 2 库车河工区巴西盖组储层砂体参数统计表  
(据张柏桥,1999<sup>①</sup>)

Table 2 Parameters of the sandstone body in Kuqa river area of Kuqa depression (After Zhang Baiqiao, 1999)

序号	砂体号	视宽度/m	厚度/m	视宽/厚	类型
1	17	> 900	9.66	> 98.3	中型
2	18 西	> 250	1.43	> 174.8	小型
3	18 东	> 300	1.3	> 230.8	小型
4	19-23	> 900	12.92	> 69.5	大型
5	24-25	> 900	10.16	> 88.6	大型
6	29-30	> 420	9.94	> 42.3	中型
7	31	> 900	9.39	> 95.8	中型
8	32 西	> 350	18.07	> 18.8	大型
9	32 东	> 370	5.66	> 63.4	中型
10	33-2	435	12.5	34.8	大型
11	34	> 900	26.5	> 34	大型
12	35	> 900	12.96	> 69.4	大型
13	44-46	> 900	11.91	> 75.6	大型
14	47-48	> 900	10.76	> 83.6	大型
15	49-50	> 900	16.98	> 53	大型

注:砂体类型以厚度为主要指标,厚度 > 10m 为大型(9个); 5 ~ 10m 为中型(4个); < 5m 为小型(2个)。

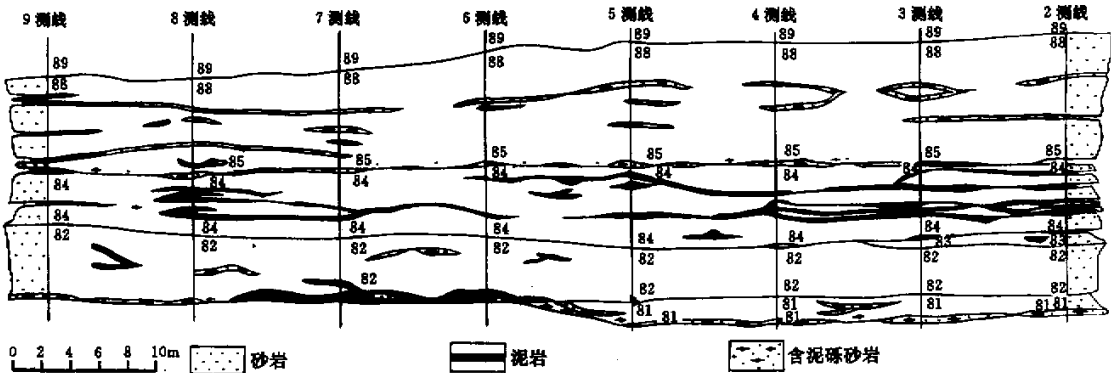


图 4 克拉苏河油砂山砂体结构模型(据张柏桥,1999<sup>①</sup>)  
(剖面砂层厚、泥质夹层少且薄,砂岩连通性好)

Fig.4 Sand body structural model of Youshashan in Kelaasu river area (After Zhang Baiqiao, 1999)

5 结论

塔里木盆地库车坳陷白垩系主要是辫状三角洲沉积,在克—依构造带属辫状三角洲的前缘,沉积物主要为褐色的中细砂岩和粉砂岩。根据自生矿物组合、分

布、演变及形成顺序,粘土矿物及混层粘土矿物的转化,岩石结构构造特征及孔隙类型,有机质成熟度等指标等判断,研究区白垩系成岩阶段已达晚成岩 A 期。由于该区为碱性成岩环境,粘土矿物类型和组合有其独特之处。白垩系巴什基奇克组上部和底部、巴西盖组砂岩的孔隙类型主要有:改造粒间孔、粒内溶孔、颗

① 张柏桥.库车坳陷白垩系储层野外露头调查和建模.江汉油田研究院,1999

粒溶孔、基质溶孔、晶间孔、原生粒间孔以及构造缝、收缩缝等。辫状三角洲储层总体上属于中孔中渗和低孔中低渗。砂体建模表明：巴西盖组、巴什基奇克组辫状三角洲水下河道侧向迁移和摆动频繁，剖面上由于砂体相互叠置，使白垩系的巴什基奇克组和巴西盖组储层砂体厚度大，泥质夹层少且薄，具有很好的垂向和侧向连通性。

### 参 考 文 献

1 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版

社, 1997. 232 ~ 240

2 Mcpherson J. G, *et al.* Fan-delta and braided deltas: Varieties of coarse-grained delta [J]. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1987 99: 331 ~ 340

3 顾家裕等. 沉积相和油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 210 ~ 292

4 葛云龙, 廖保方, 李列等. 辫状河相储集层地质模型——“泛连通体” [J]. *石油勘探与开发*, 1998 25(5): 77 ~ 79

## Diagenesis and Reservoir Characteristics of Cretaceous Braided Delta Sandbody in Kuqa Depression, Tarim Basin

GU Jia-yu FANG Hui JIA Jin-hua

(Petrochina Research Institute Exploration and Development, Beijing 100083)

### Abstract

The depositional features of Cretaceous braided delta in Kuqa depression can be concluded as that (1) the sediments are very coarse, and the median-grained sandstone and fine-grained sandstone are the main rock types with a proportion from 60% to 80% of the total sandstones. The maximum can be up to 95% (2) most of these sandstones are composed of feldspathic, lithic feldspathic and lithic sandstone with 30% ~ 50% of quartz and rich in lithoclast (3) sedimentary structures are mainly massive bedding, large trough cross bedding and oblique bedding with few parallel bedding, wave bedding and horizontal bedding (4) main sedimentary period of the braided channel is flood stage, so the sedimentation is characterized by rapid migration of channels with different stages to form thick and continuous sandstone layers by lots of super imposed sandbodies, which are separated by some thin intercalated pelitic beds. Based on the data obtained from thin sections, cathodoluminescence and SEM of outcrop and core samples, the diagenesis can be determined as compaction, cementation, dissolution, replacement, pressure dissolution and recrystallization. According to authigenic mineral, clay mineral, 5% in mix-layered I/S, inclusion temperature and diagenetic types, the diagenetic stage of the Cretaceous in the study area have reached a period of the late diagenetic stage. Features of clay minerals show special types and assemblages formed under alkaline diagenetic environment. There are abundant pore types in Cretaceous sandstones, which include intergranular pore, intragranular pore, grain-dissolved pore, matrix-dissolved pore, intercrystal pore, primary intergranular pore and structural fractures.

**Key words** braided delta, diagenesis, diagenetic stage, porosity evolution, authigenic minerals